

論文・解説

21

ロードスター20周年の総括 Summary on the 20th Roadster Anniversary

山本 修弘*¹
Nobuhiro Yamamoto

要 約

2009年ロードスターは20周年を迎えた。この節目を期にロードスターの「人馬一体」を支えた特徴的な技術の変遷について報告する。「人馬一体」とは人とクルマが一体となってクルマの楽しさを感じることであり、それらを支える重要なコンセプトとしてFRレイアウトであること、コンパクトで軽量であること、前後重量配分が優れること、ヨー慣性モーメントが小さいことなどがある。それらの構成要素である、高剛性と軽量化を両立させるボデー技術、意のままに操り楽しむことのできるシャシー技術、レスポンスが良く心地よいサウンドを持つエンジン技術、はどのような目標をどのようなアプローチで達成したのか、そこに生まれ培われたキーとなる技術について述べる。

Summary

In 2009, Roadster marked its 20th anniversary. Seizing this milestone, characteristic changes in technology that have supported Roadster's "Jinbaittai — Oneness between car and driver" feeling are reported. "Jinbaittai" means that car and driver can feel driving pleasure as one and FR layout, light and compact body, perfect front/rear weight distribution, and small yaw inertia moment are listed as important concept. Regarding constructional elements of them, that is, body technology that achieves good balance between high rigidity and light weight, chassis technology that makes complete control and enjoyable driving possible, and engine technology that has a good response and comfortable sound, various targets, their approaches, and key technology that has been developed from them are described.

1. はじめに

初代ロードスターから一環して追求し続けている「人馬一体」と「Lot of Fun」を継承し進化させるために、「人馬一体」の構成要素である「走る、止まる、曲がる、見る、触る、聴く」の6項目をフィッシュボーンチャートによって定義した。このフィッシュボーンチャートの実現は、スタイリングを眺める楽しさとか、人とクルマが一体となってクルマの楽しさを実現するとか、速度が速いだけでなくいかに速いと感じることができるとか、心地よいサウンドや、ハンドルを切った時にキビキビ軽快に反応するなど、感性のよし悪しを重要とするものであった。また、10年

経っても20年経っても陳腐化することなく、オーナーの所有する喜びを提供する「本物」のFRスポーツカーを作ることが狙いとなっている。20年経過した今日、ロードスターは初代から三代目まで、世界中のロードスターファンに支えられ、小型二人乗りオープンカーの世界記録というギネスを更新中である。20周年の節目に当たり、FRスポーツを支える技術の屋台骨となっている高剛性と軽量化を両立させるボデー技術、意のままに操り楽しむことのできるシャシー技術、そして、レスポンスが良く心地よいサウンドを持つエンジン技術に焦点を当て、それらの技術進化を振り返ってみよう。

*1 プログラム開発推進本部
Program Management Div.



Fig.1 The First Generation Roadster



Fig.2 The Second Generation Roadster



Fig.3 The Third Generation Roadster

補強するか」という観点ではなく、「オープンボデーはいかなる構造を持つべきか」という観点で設計活動を始めた。初代では、連続格子状に巡らした骨格配置という構造を実現するために、

- ① 多分岐構造を持たせた骨組み
- ② バックボーンフレーム構造（トンネルの骨組み）
- ③ サスペンションクロスメンバの活用

という高い剛性を持つ骨組み構造を開発した。開発過程では解析モデルを作成して剛性が設計の意図通りにできているか解析を行った。判断の目安となる捻り剛性レベルや振動レベルは各部を強化することに考えが傾きがちとなるが、大切なのは乗員の感じる剛性感を高めることであり、ある部位の強化は振動レベルが増大し必ずしも狙い通りにならないことがある。部位によっては意図的に強化を避けることで振動レベルが低減し、フィーリングが良くなることもあり、またハンドリング性能や乗り心地などに多くの機能のベースとなるボデー性能は、実車走行との一致性を重要視して開発を進めた。

2.2 高剛性と軽量化の両立

二代目、三代目となると、ボデー開発は優れたハンドリングや乗り心地に寄与するボデー剛性のみならず、安全性能の向上が求められた。それは、あらゆる方向からの衝突に対して乗員を守る高衝撃吸収ボデーを実現することが必要となった。衝突エネルギー吸収量を高めコントロールするため、バンパの耐力アップやフレームの耐力アップと折れモードをコントロールする工夫を行った。また、ドアインパクトバーの取り付けは車体とのオーバラップを増やして車体側でもエネルギー吸収する構造で剛性と軽量化を両立できるように工夫した。更に、高耐力材料（ハイテン材&超ハイテン材）の開発が進み、加工性の難しいそれらの材料の生産技術開発も併行して進めた。ボデーの軽量化は材料強度を上げることで部品の板厚を下げて質量を低減する手法が早道であるが、単純に板厚を下げるとスポーツカーとして必要な剛性の確保が困難となる。薄い板厚でも高剛性が確保できる車体構造はどうあるべきかという課題の克服に取り組んだ。それは、車体剛性に直結するホイールベース間は大断面構造で薄肉化しながら捻り剛性に寄与するトンネル部にはバックボーンフレームを進化させたハイマウントバックボーンフレーム構造を採用し、ハイテンを多く使えるボデー構造を開発した。その結果、三代目のボデー開発では、ハイテン780MPa級や、特定部位には1,500MPa級の超ハイテン材料を使って、高剛性と軽量化を実現した。その結果、Fig.6に青色で示す超ハイテン材の使用割合は12%になり、ハイテン材料はトータルで58%になった。ボデー剛性は二代目比較で曲げが22%アップ、捻りで47%アップを達成、質量は13kg（6%）ダウンという高剛性と軽量化を両立することができた。

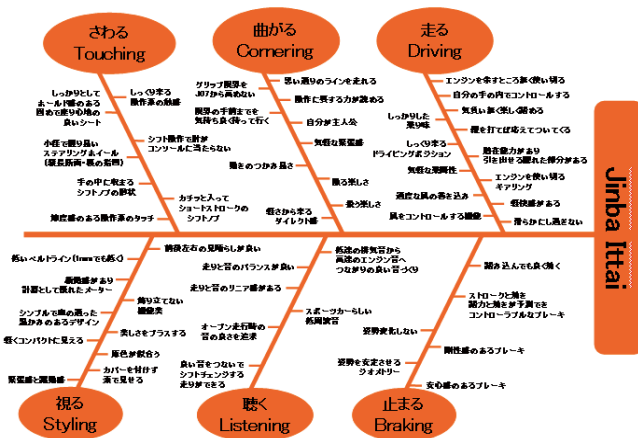


Fig.4 Fish Bone Chart “Jinbaitai”

2. ボデー

2.1 オープンボデー構造

ルーフを切り取ってしまうとボデー全体の剛性は1/5に低下する。ロードスターのボデー開発は「ボデーをいかに

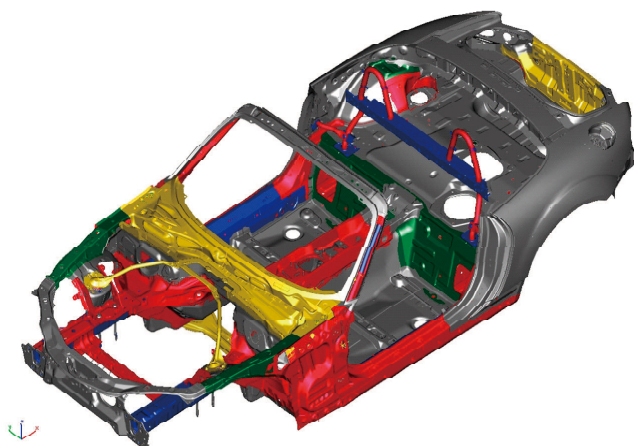


Fig.5 Body Structure

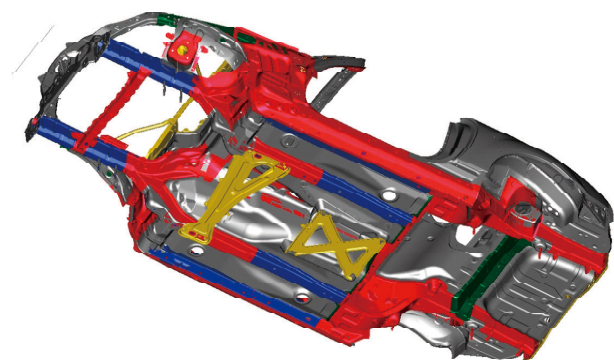


Fig.6 Body Structure (Bottom View)

2.3 車体剛性感

一方、もう一つの重要な開発テーマである人が感じる車体剛性感の向上については、人が感じやすい部位はどこかを探りその部位を重点的に改善することで剛性感を感じやすくする取り組みを行った。それは「ハンドルとシート」が感じやすい部位であり、ハンドルが固定されているインパネフレームの支持剛性のあり方を見直し、Aピラーのレインフォースメントとダイレクトにボルトアップする構造を採用した。シート取り付け部は、シート前後の取り付け部が車体のNo.2クロスメンバとアンダークロスメンバと前後のみならず、横方向でも結合する構造とし、シート固定部の動きが車体と連動して一体感を感じることができるよう工夫した。

3. シャシー

3.1 サスペンション

初代ロードスターは、コーナリング限界が比較的容易につかめ自らのテクニックで人とクルマが一体となってクルマをコントロールする楽しさを徹底的に追求した。そのために、車両重量の軽量化、前後重量バランスの最適化、ヨー慣性モーメントの低減、車体剛性の向上が重要であり、その上でサスペンションはそれらを活用し最大のポテ

ンシャルを持つダブルウッシュボーン形式とした。この形式でジオメトリの自由度を高くすることができ、ロールセンターの位置、キャンバ角度変化を思い通りに設定することができた。ステアリング系は、高剛性のラックアンドピニオンタイプを採用し、クイックなギヤレシオを選定することで、ダイレクトさとキビキビした軽快さを追求すると同時に、フィードバック感覚に優れたエンジン回転数感応型の油圧パワーステアリングとした。

3.2 パワープラントフレーム (PPF)

一体感という人馬一体の運転感覚を実現するために採用されたのがFRならではのパワープラントフレーム (PPF) である。PPFはトランスミッションとデフレンシャルギアをコの字型断面のフレーム構造で結合したもので、パワートレイン全体のラバーマウントが7つから4つにシンプルになり軽量化にも貢献している。特徴として、クルマが加速するときにタイヤからの反力がデフレンシャルギアケースに逆トルクとして入るので、これを支えるためにデフの首振り現象が発生する。PPF構造ではデフケースから前の長いフレームによってトランスミッションと結合しているため、デフの首振り反力はエンジンマウントが兼ねることになる。これによって従来構造と比べて約6倍のマウントスパンに相当し、デフケースの首振り方向のバネ定数では約38倍相当に匹敵するポテンシャルがある。それによって、アクセルを踏んでタイヤにトルクが伝わって路面を蹴って加速するレスポンスのタイムラグが改善できる効果がある。

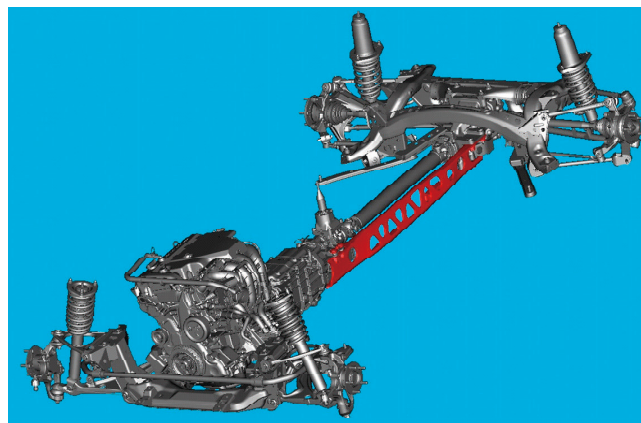


Fig.7 PPF

3.3 サスペンションの進化

二代目ロードスターのサスペンションは、初代を踏襲したが人馬一体の感覚を高めるための進化は続けた。乗り心地と高速走行における安定感、安心感の向上とリニアな応答性とハンドリングの正確さを改善した。フロント及びリヤサスはクロスバーによってサスペンション剛性とボデー剛性の両方を改善した。自然なロールフィール改善のため、フロントのロールセンター高さを20mm下げるこ

で、コーナリング時の内輪の浮き上がりを抑え、自然なダイアゴナルロールが実現できた。ダンパの効きを高めるため、ダンパアッパーの取り付け部の構造をスプリングとダンパ入力を分離させる入力分離方式として減衰力の効きを高めた。

三代目ロードスターでは、Frサスペンションはダブルウッシュボーンを継承し、車両姿勢を安定化させるアンチダイブジオメトリを最適化した。ロアアーム、アッパーアームをアルミとして軽量化と剛性アップの両立を図った。ダンパはモノチューブ構造でピストン径を大型化し、タイヤの微小な動きにも安定した減衰力が得られる構造とした。Rrサスペンションはリニアなアライメント変化及びコンプライアンスの最適化を図るためにダブルウッシュボーンからマルチリンク式を採用した。各リンクは十分な長さを確保してアライメント変化を少なくした。アンチスクワット、アンチリフトジオメトリも最適化した。ダンパはFr同様にモノチューブとしRrハブサポートに装着することで、タイヤの動きに対するダンパストロークのレバレッジを高めて減衰力の効きを高め乗り心地との両立を図った。これらの取り組みの中で重要視したことは、操縦安定性や乗り心地がドライバーのフィーリングとして人馬一体感をいかに感じるかという感性領域の指標を大切にしたことである。例えばレーンチェンジした時や、限界付近での走行シーンなどでサスペンションが有効に働くには、ボデー剛性との関係が大切になる。三代目ではボデーの横振りモードや捩じりモードにおける車体の2点間距離変化に注目し改良を重ね、ボデー剛性アップを実現することができた。前述のボデー技術の中で示した技術の積み重ねと相まって軽快で安定した操縦安定性と乗り心地を確保に貢献している。

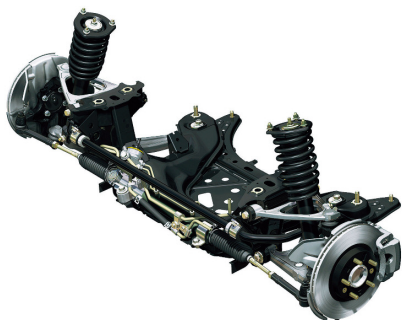


Fig.8 Front Suspension

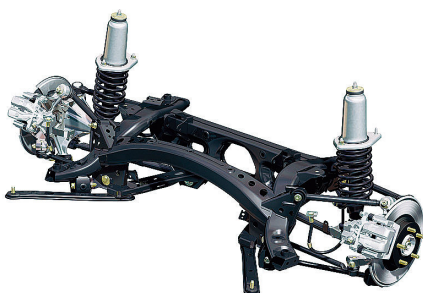


Fig.9 Rear Suspension

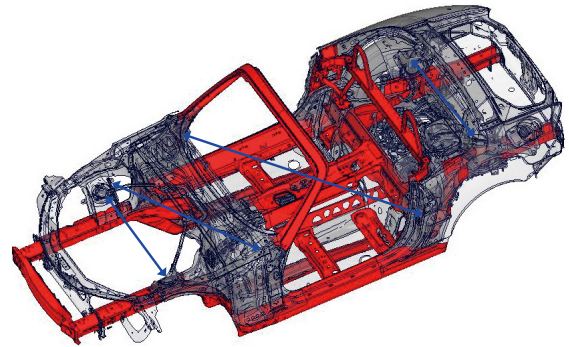


Fig.10 Measurement Location for Two-point Distance

4. エンジン

4.1 1.6Lエンジン

スポーツカーにとってエンジンは心臓にあたる大切な領域である。パワーやトルクが優れていることはもちろん、ドライバーの感性を刺激する「走り感」を演出することが重要である。そのために、鋭いレスポンスで高回転までストレスなく伸びるトルク特性を持つことや、力強いエグゾーストサウンドや吸気サウンドも欠かせないものである。初代ロードスターでは、FRフロントミッドシップ1.6LDOHC4バルブエンジンで、4-2-1独立エグゾーストや機能美を感じさせるヘッドカバーデザインを採用するなど、ドライバーを刺激するスペックを採用した。



Fig.11 Engine of First Generation Roadster

4.2 1.8Lエンジン

二代目1.8Lエンジンは低速から高速までのトルク特性の改善を狙って採用された。可変吸気システム、圧縮比アップ、ノックコントロールシステム、サイレンサの大型化などで低速から高速までのスムーズに吹き上がるトルク特性とアクセルレスポンスの良さを改良した。

4.3 2.0Lエンジン

三代目ロードスターでは、2.0Lエンジンを採用した。新開発の2.0Lエンジンはそれまでの1.8L鋳鉄ブロックエンジンからアルミブロックとなり、エンジンだけで20kg以上の軽量化を実現することができ、人馬一体コンセプト実現の大きな軽量化項目となった。合わせてエンジン搭載位置を135mm後方へ移動させてFRフロントミッドシップレイアウトを進化させ、50:50の重量配分をキープした上

で車両全体のヨー感性モーメントを2%低減させた。

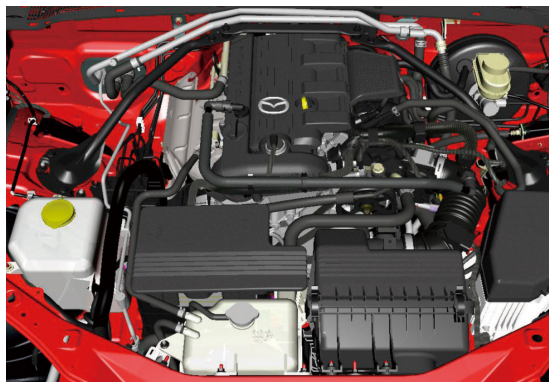
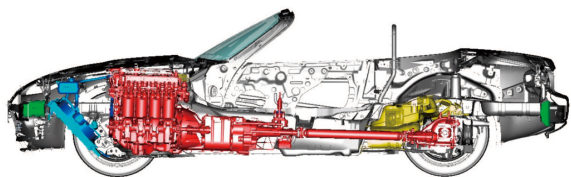


Fig.12 Engine of Third Generation Roadster

4.4 統一感メトリクス

FRとしての「走り感」はどんな走行シーンでも常に楽しく運転できるように、キビキビ軽快でリニアな感覚を高める取り組みを行った。加えて、走りの楽しさを「意のままに操れる＝正確でリニア」と軽やかな身のこなし＝軽快とのバランスであると定義づけし、それらのダイナミック性能のハーモナイズを統一感テストという形で実現する取り組みを行った。それらを実現するメトリクスは、ヨーゲインと加速G、アクセルを踏んでからのGの立ち上がり勾配、クラッチ踏力とアクセル踏力、アクセル踏力とチェンジレバー操作力など、それぞれが、楽しさを体現するテストを持つ調和している姿を作りこんだ。

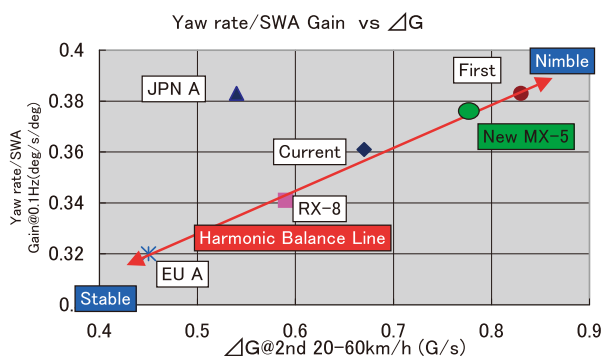


Fig.13 Metrics for Yaw Rate Gain vs ΔG

4.5 スポーツサウンド

アクセルワークに応じて心地よいスポーツサウンドを積極的にドライバーに伝えることを目的としてインダクションサウンドエンハンサー (ISE) を開発した。インテーク発生した吸気脈動がサウンドパイプ内で共鳴しながら、ISE本体へ導かれ200~400Hzのアグレッシブサウンドとしてダッシュカウル内に放出され、室内のドライバーの耳へと届

けられる。ISEはドライバーがアクセルを踏んでいるときのみ発生するという利点がある。例えば、高速走行でクルージングしているときはISEのサウンドは比較的静かで、アクセルを戻して減速するときは静かになる。そして、ドライバーがアクセルを深く踏み込む時や、ヒールアンドトーでアクセルを踏んだときなど歯切れの良い吸気サウンドがドライバーの気分を高める。



Fig.14 Induction Sound Enhancer

5. おわりに

ロードスターの20周年の節目にあたり、「人馬一体」コンセプトを支えるキーとなったFRスポーツのボデー、シャーシ、エンジンの技術について述べたが、その他の多くの技術によって支えられていることはいうまでもない。また、ロードスターは世界中の沢山のお客様によって支えられていることも間違いのないことである。今後も「人馬一体」のFRコンセプトを継承し、お客様の期待を超えられるように常に価値創造と進化を目指し、情熱と誇りを持って技術開発に取り組んでいきたい。

参考文献

- (1) 齊藤ほか：新型ロードスターのダイナミック性能統一感について、マツダ技報No.24 (2006)
- (2) 高橋ほか：新型ロードスターのダイナミック、マツダ技報No.24 (2006)
- (3) 木村ほか：新型ロードスター軽量化ボデーストラクチャの開発、マツダ技報No.24 (2006)

■ 著 者 ■



山本修弘